

BAB II

TINJAUAN TEORI

2.1 Proses Pembentukan Biogas

Biogas secara karakteristik fisik merupakan gas. Karena itu, proses pembentukannya membutuhkan ruangan dalam kondisi kedap atau tertutup agar stabil. Pada prinsipnya, biogas terbentuk melalui beberapa proses yang berlangsung dalam ruang yang anaerob atau tanpa oksigen. Proses yang berlangsung secara anaerob dalam tempat tertutup ini juga memberikan keuntungan secara ekologi karena tidak menimbulkan bau yang menyebar kemana-mana.

Berikut mekanisme pembentukan biogas secara umum

Mikroorganisme anaerob



Apabila diuraikan dengan terperinci, secara keseluruhan terdapat tiga proses utama dalam pembentukan biogas, yaitu proses hidrolisis, pengasaman (asidifikasi), dan metanogenesis. Keseluruhan proses ini tidak terlepas dari bantuan kinerja mikroorganisme anaerob.

2.1.1 Hidrolisis

Hidrolisis merupakan tahap awal dari proses fermentasi. Tahap ini merupakan penguraian bahan organik dengan senyawa kompleks yang memiliki sifat mudah larut seperti lemak, protein, dan karbohidrat menjadi senyawa yang lebih sederhana. Tahap ini juga dapat diartikan sebagai perubahan struktur dari bentuk polimer menjadi bentuk monomer. Senyawa yang dihasilkan dari proses hidrolisis di antaranya senyawa asam organik, glukosa, etanol, CO₂ dan

senyawa hidrokarbon lainnya. Senyawa ini akan dimanfaatkan mikroorganisme sebagai sumber energi untuk melakukan aktivitas fermentasi.



2.1.2 Pengasaman (Asidifikasi)

Senyawa-senyawa yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan dijadikan sumber energi bagi mikroorganisme untuk tahap selanjutnya, yaitu pengasaman atau asidifikasi. Pada tahap ini, bakteri akan menghasilkan senyawa-senyawa asam organik seperti asam asetat, asam propionat, asam butirat, dan asam laktat beserta produk sampingan berupa alkohol, CO₂, hidrogen, dan zat amonia.

2.1.3 Metanogenesis

Bakteri metanogen seperti *methanococcus*, *methanosarcina*, dan *methano bacterium* akan mengubah produk lanjutan dari tahap pengasaman menjadi gas metan, karbondioksida, dan air yang merupakan komponen penyusun biogas. Berikut reaksi perombakan yang dapat terjadi pada tahap metanogenesis.

Tabel 2.1 . Komposisi biogas berdasarkan penelitian
(Juangga, 2007)

No	Gas	Hadi (1981)
1	Metana (CH ₄)	54 – 70 %
2	Karbondioksida (CO ₂)	27 – 35 %
3	Nitrogen (N ₂)	0,5 – 2,0 %
4	Hidrogen (H ₂)	1 – 5%
5	Karbon monoksida (CO)	0,1 %
6	Hidrogen sulfida (H ₂ S)	0 – 3 %

Jumlah energi yang dihasilkan dalam pembentukan biogas sangat bergantung pada konsentrasi gas metana yang dihasilkan pada proses metanogenesis. Semakin tinggi kandungan metana yang dihasilkan, maka semakin besar pula energi yang terbentuk. Sebaliknya, apabila konsentrasi gas

metana yang dihasilkan rendah, maka energi yang dihasilkan juga semakin rendah.

Kualitas biogas yang dihasilkan juga dapat ditingkatkan melalui penghilangan hydrogen sulfur, kandungan air, dan karbondioksida yang turut terbentuk. Hydrogen sulfur merupakan senyawa yang mengandung racun dan dapat menyebabkan korosi (pengkaratan) sehingga menjadi berbahaya apabila biogas mengandung senyawa ini karena dapat merusak instalasi. Kandungan air dihindari karena dapat menurunkan titik penyalaan biogas. Kandungan ketiga zat tersebut dapat dihilangkan menggunakan alat *desul-furizer* yang dibutuhkan untuk menyalakan mesin generator (angin) agar mesin tidak mudah mengalami korosi.

2.1.4 Mikroorganisme Pembantu

Proses pembentukan biogas tidak terlepas dari kinerja mikroorganisme. Mikroorganisme yang berupa bakteri metanogenik ini membantu proses fermentasi hingga pembentukan biogas. Bakteri ini bekerja merombak bahan organik dan merubahnya menjadi gas metana. Karakteristik bakteri metanogenik dapat hidup dalam lingkungan anaerobic (tanpa oksigen), umumnya bakteri ini terdapat pada kotoran rumen dan kotoran manusia. Bakteri metanogenik dapat diperoleh dari kotoran ternak itu sendiri atau diisolasi dari rumen sapi sebagai *starter*. Selain terkandung di dalam kotoran padat, bakteri metanogenik juga terkandung dalam bentuk cair dan campuran bahan organik.

Pada dasarnya, bakteri sangat sensitif terhadap perubahan suhu lingkungan, sehingga diperlukan perlakuan khusus untuk mempertahankan populasi bakteri pada kadar yang diperlukan. Perubahan suhu yang tiba-tiba dapat menyebabkan penurunan laju pertumbuhan bakteri dan

berdampak pada rendahnya produksi gas metana. Karena itu, sangat penting untuk menempatkan digester pada posisi dan lokasi yang tepat agar suhu yang dihasilkan dapat mendukung kinerja bakteri meanogenik.

2.2 Bahan Baku Pembuatan Biogas

Pada prinsipnya, bahan baku untuk membuat biogas berasal dari substrat bahan organik atau sisa jasad renik, baik yang sudah mengalami dekomposisi maupun yang masih segar. Sebagian besar bahan baku yang dapat digunakan untuk pembuatan biogas merupakan limbah sisa aktivitas manusia. Seperti limbah peternakan, limbah pertanian, limbah industri, limbah perairan, hingga sampah organik.

2.2.1 Limbah Peternakan

Sektor peternakan merupakan salah satu sektor usaha unggulan di Indonesia yang terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Hal ini tidak terlepas dari meningkatnya permintaan terhadap produk berupa telur, susu, maupun daging, seiring dengan pertumbuhan ekonomi nasional.

Biasanya, sektor peternakan skala kecil atau rumah tangga di daerah pedesaan dapat memelihara 2-5 ekor sapi. Sementara itu, skala usaha yang lebih besar dapat dipelihara hingga ratusan ekor ternak. Namun, selain meningkatnya produksi hasil ternak, limbah peternakan juga turut meningkat. Produksi hasil peternakan sapi juga disertai dengan melimpahnya produksi limbah peternakan. Keberadaan limbah ini menimbulkan bau yang dapat mengakibatkan polusi udara yang dapat mengganggu kesehatan manusia.

Tabel 2.2 Produksi kotoran ternak segar per hari
(United Nations, 1984)

Jenis Ternak	Bobot Ternak (kg/ekor)	Produksi (kg/ekor)
Sapi potong	400-500	20-29
Sapi perah	500-600	30-50
Ayam petelur	1,5-2,0	0,10
Ayam pedaging	1,0-1,5	0,06
Babi dewasa	80-90	7,00
Domba	30-40	2,00

Solusi yang dapat diterapkan untuk mengurangi dampak negatif dari keberadaan limbah kotoran ternak salah satunya dengan melakukan pengelolaan limbah menjadi biogas. Limbah peternakan seperti kotoran padat (fesses) dan cair (urine) dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biogas. Biogas yang dihasilkan dapat dijadikan sebagai sumber energi. Sementara itu, sisa pengolahan biogas dapat dijadikan pupuk organik dan biourine ternak dapat digunakan sebagai pembuatan pupuk organik cair.

Tabel 2.3 Potensi gas yang dapat dihasilkan dari beberapa jenis

limbah.

(Chengdu Biogas Research Institute, 1989)

Jenis Limbah	Potensi yang dihasilkan / kg kotoran (m ³)
Sapi atau kerbau	0,023 – 0,040
Babi	0,040 – 0,059
Ayam	0,065 – 0,116
Manusia	0,020 – 0,028

Umumnya, kebutuhan energi untuk memasak satu keluarga rata-rata adalah 2000 liter biogas per hari, sedangkan produksi harian biogas dari seekor sapi berkisar 600 – 1000 liter per hari. Dengan demikian, untuk memenuhi kebutuhan memasak atau penerangan untuk satu rumah tangga dibutuhkan setidaknya produksi bahan baku limbah untuk biogas dari 2 – 3 ekor sapi.

2.2.2 Limbah Pertanian

Pertanian merupakan salah satu sektor usaha yang mendukung perekonomian Indonesia. Sama seperti sektor peternakan, produksi pertanian yang cukup besar juga menghasilkan limbah pertanian dalam jumlah besar. Salah satu jenis limbah pertanian yang banyak dihasilkan yaitu jerami atau sekam padi di areal persawahan. Tanaman padi yang merupakan komoditas utama pertanian Indonesia dapat menghasilkan limbah jerami kering sebanyak 3 – 3,7 ton/hari. Maka dapat dibayangkan berapa besar jumlah limbah jerami yang dihasilkan areal persawahan di seluruh Indonesia. Selain padi, masih banyak komoditas pertanian lainnya yang menghasilkan limbah pertanian dalam jumlah besar.

Besarnya jumlah limbah dari sektor pertanian ini masih belum dapat dimanfaatkan secara optimal. Biasanya petani cenderung membakar sisa-sisa limbah atau menimbun ke tanah. Padahal cara tersebut acapkali menimbulkan kerugian di lingkungan sekitar. Selain asap pembakaran yang menghasilkan CO₂, abu sisa pembakaran juga dapat memicu pertumbuhan gulma maupun rumput liar.

Salah satu pola pengelolaan limbah yang tepat adalah dengan mengolahnya menjadi biogas. Pemanfaatan limbah ini dapat memberikan keuntungan ganda. Selain menghasilkan biogas, sisa-sisa bahan dapat dijadikan pupuk kompos untuk dimanfaatkan kembali pada musim tanam berikutnya. Jika jumlah pupuk yang dihasilkan berlebih, pupuk tersebut dapat dijual untuk menambah penghasilan petani.

2.2.3 Limbah Perairan

Kebanyakan limbah perairan yang dimanfaatkan berupa hasil sampingan atau tanaman yang tumbuh di

perairan, seperti eceng gondok, rumput laut, atau alga. Rumput laut merupakan salah satu komoditas unggulan perairan yang jumlahnya melimpah. Kebanyakan pemanfaatannya baru sebatas pada bahan pangan, padahal pada spesies tertentu, seperti *Euchema cottoni* dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas karena memiliki nilai C/N sebesar 43,98. Selain rumput laut tanaman air yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biogas adalah eceng gondok. Tanaman ini sering ditemukan tumbuh secara liar pada perairan yang tercemar dan sering dianggap sebagai gulma air.

Bahan baku pembuatan biogas umumnya berasal dari agroindustri, seperti perkebunan kelapa sawit, tebu, singkong, dan kedelai. Proses pengolahan produk perkebunan dan pertanian tersebut akan menghasilkan limbah sebagai produk sampingan. Limbah-limbah tersebut memiliki potensi untuk mencemari lingkungan. Salah satu caranya dengan mengolah limbah agroindustri diantaranya pengolahan limbah pabrik tapioka dan limbah pabrik gula. Kedua limbah tersebut merupakan bahan yang potensial menghasilkan biogas.

2.2.4 Sampah Organik

Bahan lain yang potensial untuk pembuatan biogas adalah limbah sampah organik. Sampah organik acapkali menimbulkan masalah lingkungan apabila tidak dikelola dengan tepat. Kemampuan untuk mengelola sampah organik saat ini belum sepadan dengan jumlah sampah yang dihasilkan setiap harinya. Karena itu, tidak jarang ditemukan sampah bertumpuk di suatu titik dan menyebabkan bau yang tidak sedap.

Pengelolaan sampah secara tepat sebaiknya dilakukan dari sektor hulu (rumah tangga) hingga hilir. Pada tempat pengolahan sampah terpadu, setiap sampah akan ditempatkan sesuai dengan jenisnya, yaitu organik dan anorganik. Pemisahan ini akan memudahkan tahap pengolahan selanjutnya. Sampah organik dapat dijadikan bahan untuk pupuk atau biogas, sedangkan sampah anorganik dapat didaur ulang menjadi barang-barang yang memiliki nilai pakai.

2.2.5 Limbah Kotoran Manusia

Bahan baku lain yang dapat digunakan adalah limbah kotoran manusia. Limbah jenis ini memang tidak lazim dan belum banyak digunakan. Namun, limbah kotoran manusia memiliki keunggulan dari segi imbangannya C/N yang jauh lebih rendah dari kotoran ternak sehingga lebih cepat terfermentasi menghasilkan gas.

Tabel 2.4 Rasio C/N
(El-Fauzi blogspot.com)

Bahan Organik	Rasio C/N	Kadar N (%)	Kekeringan bahan (%)
Kotoran ayam	15	6,3	25
Kotoran kuda	25	2,8	-
Kotoran sapi, kerbau	18	1,7	18
Tinja manusia	6 – 10	5,5 – 6,5	11
Buangan BPH	2	7 – 10	-
Sampah kota	54	1,05	-
Jerami jelai	68	1,05	-
Sayuran	12	3,6	-
Rumput muda	12	4	-

2.3 Bagian Instalasi Pengolahan Biogas

Untuk menghasilkan biogas berkualitas, dibutuhkan instalasi pengolahan yang dirancang untuk menghasilkan suasana anaerobik. Komponen utama instalasi biogas diantaranya digester yang dilengkapi dengan lubang pemasukan (inlet) dan lubang pengeluaran

(outlet), penampungan gas, serta penampungan *sludge* (sisa buangan dalam bentuk padat dan cair).

2.3.1 Unit Digester

Memilih digester harus memperhatikan beberapa faktor seperti ukuran, model, bahan, serta ketahanannya terhadap suhu, cuaca, atau gempa. Jika ukuran digester terlalu kecil maka digester tidak dapat menampung kotoran yang diproduksi ternak setiap harinya. Sebaliknya, jika ukurannya terlalu besar, maka gas yang dihasilkan tidak akan maksimal sehingga tekanan gas tidak akan cukup besar untuk mendorong kotoran lumpur keluar melalui saluran outlet. Kondisi ini akan mengakibatkan gas tercampur bersama *sludge* di dalam ruang penampung gas.

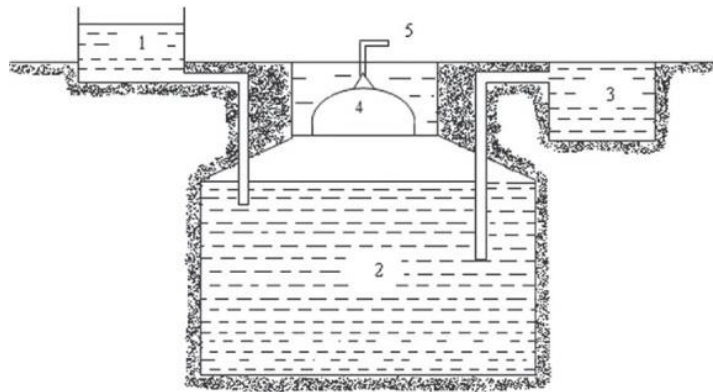
Jenis digester biogas dibedakan menjadi tiga, yaitu berdasarkan bentuk konstruksi, teknik pengisian bahan baku, dan juga berdasarkan bahan baku pembuatannya.

2.3.2 Jenis Digester Berdasarkan Model Konstruksinya

- Digester bak tertutup

Digester bak tertutup merupakan kolam penampung bahan baku dengan desain sederhana yang digunakan untuk kotoran cair yang memiliki kandungan kepadatan kurang dari 3%. Sesuai dengan namanya, digester ini dilengkapi dengan penutup yang berfungsi sebagai penangkap gas yang dihasilkan selama proses dekomposisi. Gas yang diproduksi akan terperangkap di bawah tutup kemudian akan disalurkan melalui pipa menuju peralatan aplikasi.

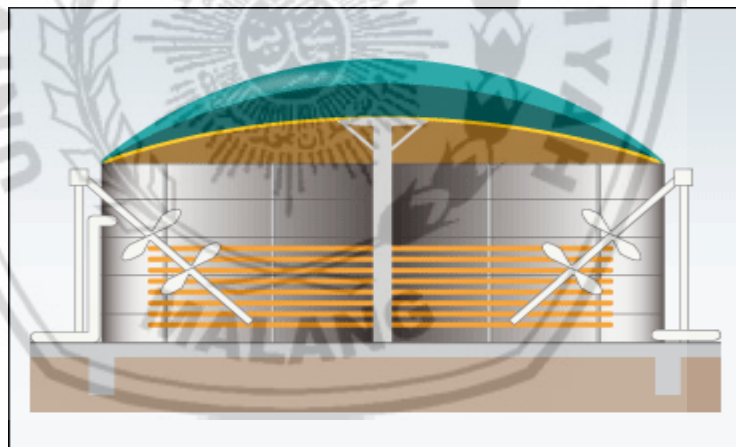
Berdasarkan segi biaya, jenis digester ini merupakan yang paling murah. Hanya saja, digester ini membutuhkan kolam yang besar dengan suhu yang hangat sehingga tidak cocok dibangun di daerah yang memiliki suhu rendah.



Gambar 2.1 Digester bak tertutup.
(www.agrenergylc.com)

- ***Complete Mix Digester***

Digester jenis ini merupakan tangki yang terbuat dari bahan yang diinstalasi di atas atau terkubur di bawah tanah. Biasanya, *complete mix* digester cocok untuk menampung bahan baku kotoran dalam jumlah yang besar dengan kandungan padatan kotoran antara 3 – 10%.



Gambar 2 .2 *Complete Mix Digester*
(www.agrenergylc.com)

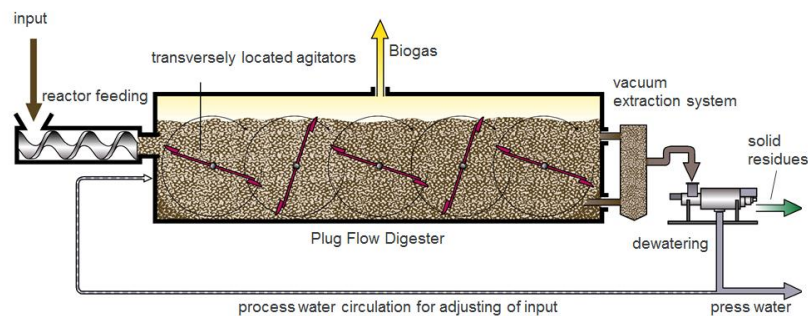
Tangki ini dilengkapi dengan alat pemanas dan pengaduk mekanik sehingga bahan akan teraduk secara merata dan terhindar dari proses pengendapan selama proses fermentasi. Gas yang dihasilkan akan terakumulasi dibagian atas, kemudian disalurkan melalui pipa. Digester jenis ini

lebih mahal biaya pembuatan, operasional dan pemeliharannya.

- ***Plug-flow Digester***

Plug-flow digester biasanya berbentuk persegi panjang, kedap air, dan memiliki penutup yang dapat diubah. Digester ini cocok untuk bahan baku kotoran ruminansia dengan kepadatan 11 – 13%/. Digester ini memiliki ciri khas tempat pengumpulan bahan, tempat pencampuran dan tangki digester yang terpisah. Bahan baku dimasukkan dari salah satu sisi dan mendorong keluar buangan yang telah mengalami proses fermentasi sebelumnya di sisi lain. Gas yang dihasilkan akan terperangkap di bawah penutup dan menuju generator.

Dibandingkan kedua jenis lainnya, digester ini memerlukan pemeliharaan yang minimal. Selain itu, pengaturan suhu dapat lebih mudah dilakukan karena panas buangan dari mesin generator dapat digunakan untuk memanskan digester. Sirkulasi tersebut dapat menghasilkan suhu digester sekitar 2 – 40⁰ C yang cocok bagi pertumbuhan bakteri metanogen. Kotoran ternak yang dapat diproses menggunakan digester ini mencapai 8.000 galon atau setara dengan 33.280 m³ yang dihasilkan oleh sekitar 500 sapi perah. Digester jenis ini cocok untuk memenuhi kebutuhan listrik dan pemanas.

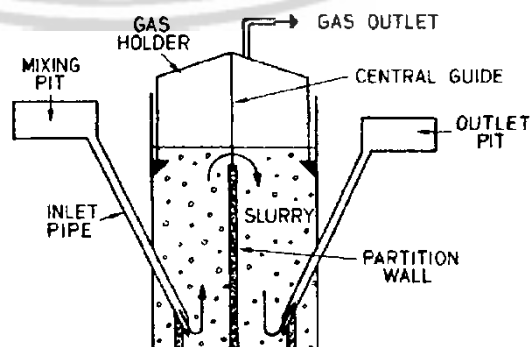
Gambar 2.3 *Plug-flow* Digester

(www.fao.org)

2.3.3 Jenis Digester Berdasarkan Teknik Pengisian Bahan Baku

- *Batch feeding*

Batch feeding merupakan digester yang pengisian bahan organiknya dilakukan sekali sampai penuh, kemudian ditunggu hingga biogas dihasilkan. Isian digester tersebut akan dibongkar setelah biogas tidak diproduksi lagi atau produksinya rendah. Digester kemudian diisi kembali dengan bahan organik yang baru. Umumnya, digester ini didesain untuk bahan baku organik yang berasal dari sampah sayuran atau hijauan.

Gambar 2.4 *Batch Feeding*

(www.fao.org)

2.3.4 Jenis Digester Berdasarkan Bahan Baku Pembuatnya

- Digester tipe kubah tetap (*fixed dome*)

Digester ini berbentuk menyerupai kubah dan umumnya dibangun di atas tanah dengan bahan konstruksi berupa batu bata, batu, pasir, dan semen. Desain digester ini dibuat sedemikian rupa agar kedap udara. Digester ini dibuat dalam dua bagian berbeda, tangki sebagai pusat berlangsungnya kegiatan fermentasi oleh mikroorganisme dan kubah sebagai tempat penampungan gas. Struktur digester harus dibuat dengan kaut agar tidak terjadi kebocoran gas.

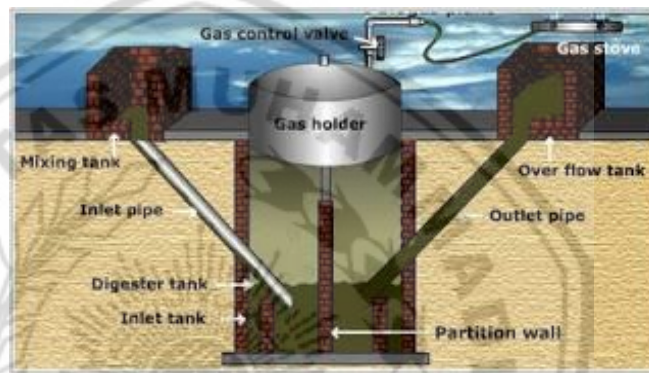


Gambar 2.5 Digester tipe kubah tetap / *fixed dome*
(www.tutorvista.com)

Penggunaan digester tipe kubah lebih murah dan perawatannya lebih mudah. Namun dari segi waktu pembuatannya, digester jenis ini sedikit membutuhkan waktu yang lebih lama. Selain itu, digester juga mudah mengalami keretakan dan tidak dapat dipindahkan karena bersifat semi permanen. Kekurangan lainnya, sulit untuk mendeteksi dan memperbaiki jika sampai terjadi kebocoran akibat pori-pori yang agak besar pada dinding.

- **Digester silinder**

Digester ini disebut juga dengan digester terapung (*floating*) dan pertama kali dikembangkan di negara india. Digester ini terdiri dari dua bagian, yaitu sumur pencernaan dan bagian penampungan gas. Bagian penampung gas di dalam digester terbuat dari digester silinder menggunakan peralatan bergerak yang terbuat dari drum. Pergerakan naik-turun dalam drum ini berfungsi untuk menyimpan gas hasil fermentasi.



Gambar 2.6 Digester silinder
(www.tutorvista.com)

Penggunaan digester ini memiliki keuntungan, yakni volume gas yang diproduksi dan disimpan dapat dilihat secara langsung karena adanya pergerakan drum. Selain itu, tekanan gas di dalam tempat penyimpanan akan lebih konstan. Kekurangannya adalah biaya konstruksi yang lebih mahal jika dibandingkan dengan digester kubah tetap, serta tempat pengumpul gas yang cenderung berumur lebih pendek (tidak tahan lama) akibat korosi.

- **Digester balon**

Penggunaan digester balon memiliki keunggulan lebih mudah dipindahkan karena bahan pembuatnya yang berasal dari plastik serta lebih efisien dalam perawatannya. Perbedaan dengan digester lainnya hanya terdiri dari satu

bagian, yaitu sumur pencerna yang memiliki fungsi ganda sebagai tempat fermentasi dan tempat penampungan gas.



Gambar 2.7 Digester balon
(kencanaonline.com)

Bagian bawah digester terisi oleh material organik yang berbobot lebih besar. Sementara gas produksi akan terakumulasi pada bagian atas. Jenis digester ini cocok untuk penggunaan skala rumah tangga karena harganya lebih murah, serta konstruksi dan pemasangannya lebih singkat. Namun, digester ini juga memiliki kelemahan mudah mengalami kebocoran.

- **Digester *fiber glass***

Digester jenis ini terbuat dari bahan *fiber glass*, sehingga lebih efisien dalam penangannya dan mudah untuk dipindahkan. Sama seperti pada jenis balon, digester ini juga hanya terdiri dari satu bagian, yakni berupa sumur pencerna yang berfungsi ganda sebagai tempat fermentasi dan penampungan gas. Digester jenis ini juga banyak digunakan pada pengolahan biogas skala rumah tangga hingga industri.



Gambar 2.8 Digester *fiber glass*
(loowatt.com)

Jika dibandingkan dengan digester yang lainnya, digester berbahan *fiber glass* ini paling banyak memiliki keunggulan. Berikut beberapa keunggulan digester berbahan *fiber glass*.

- Sangat kedap udara dan ringan
- Sistem *knock down* dan mudah untuk dibongkar pasang
- Perawatan praktis dan tidak mudah tersumbat
- Mudah untuk dipindahkan apabila tidak digunakan atau direlokasi
- Mudah dideteksi dan diperbaiki ketika terjadi kebocoran
- Konstruksi bahan dari *fiber glass* lebih konsisten sehingga tahan terhadap cuaca dan gempa
- Ketebalan reaktor mencapai 5 – 10 mm
- Suhu gas yang dapat dihasilkan rata-rata 30,2°C. nilai ini lebih besar dari yang dihasilkan jenis lainnya
- Temperatur api rata-rata 749,5°C
- Tekanan gas 5,0 kg/cm² (5,0 bar = 72,5 psi)
- Bahan baku sisa fermentasi dapat ditampung di dalam digester dan dolah menjadi pupuk organik padat siap pakai
- Daya tahan digester yang lebih lama, yaitu dapat mencapai waktu sekitar 10 – 20 tahun.